第40卷 第1期
2023年1月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 1
Jan. 2023

中天山北坡冬季降雪变化及其影响因子分析

苗运玲[1]， 于永波[1]， 霍 达[1]， 潘存良[2]， 李如琦[3]

（1. 乌鲁木齐市气象局，新疆 乌鲁木齐 830002；2. 哈密市气象局，新疆 哈密 839000；
3. 新疆气象台，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要：利用中天山北坡17个国家级气象站1978—2020年冬季逐日降水、气温要素等观测资料，采用多种统计方法，分析冬季降雪时空变化特征及其与气象因子的关系，结果表明：降雪日数和降雪量区域分布相似，均呈"城区多，山区少"分布特征；小雪日减少是导致总雪日减小的直接原因，中雪和暴雪显著增多是造成总降雪量增多的主要原因；持续1 d降水过程是冬季主要降雪过程，随着持续时间的增长，降水过程显著减少，≥5 d降水过程仅占2.8%；近43 a中天山北坡气候呈现较明显的暖湿化趋势，1987年、1994年分别发生降雪量由少变多和平均气温由低变高的突变；降雪量与年降水量、冬季平均最低气温、降雪日数呈显著正相关，年降水量越大、冬季最低气温越低、出现降雪日数越多，冬季降雪量就越大，反之越小。

关键词：不同量级降雪；时空分布；持续性；中天山北坡

降雪是冬季空气中的水汽经凝结而成的固态降水，是地球表面最为活跃的自然过程之一，是干旱区水文系统中不可缺少的组成因素。降雪是在高海拔地区形成的稳定积雪构成高山冰川的物质基础[1]，冰雪融水是干旱-半干旱地区农业灌溉、生活用水的主要来源，有利于缓解水资源短缺，改善生态环境，但长时间、大范围的降雪又经常给农牧业和交通运输带来重大灾害。可见，降雪与人们的生产、生活等息息相关[2-4]。因此，加强冬季降雪气候研究十分有必要。

新疆北部是我国的三大主要降雪地区之一[5]，降雪主要出现在阿尔泰山南坡和天山北坡。中天山北坡是新疆的主要经济带，也是新疆暴雪出现频率最高的区域，降雪的多或少对当地工农业生产、经济发展都会产生重要的影响，分析当地降雪时空分布和变化特征，对提升降雪预报能力、防灾减灾、科学利用水资源等都具有十分重要的意义。

近年来研究表明，不同区域各级降雪日数占总雪日的比例都不相同，降雪日数与地理位置关系密切[1]，东北地区降雪北多南少、东多西少，降雪日数明显减少[5-6]；青藏高原降雪呈"少—多—少"的趋势[7]，降雪日数呈明显减少趋势[8]，但高原北部降雪日数没有明显的趋势性变化[9]；河西走廊东部的降雪日西南多东北少，宁夏降雪日北少南多，山东东南部西多东少，但都随时间呈减少趋势[4,10-11]。对新疆而言，降雪日数由南向北逐渐增加，北疆降雪日数明显大于南疆地区[12]，北疆和天山山区降雪日数呈增加趋势，尤其是中量以上的降雪增加明显[13-14]，北疆降雪存在显著的区域差异，北疆西部最多[15]，塔城地区大-暴雪事件在空间分布上具有明显的分散性和局地性特征，盆地发生最多，北部山地最少[3]。

以上研究主要集中于北疆和天山山区降雪的分析，但对中天山北坡不同量级降雪研究比较少见。乌鲁木齐、昌吉作为中天山北坡经济带的核心城市，是新疆政治、经济、文化和交通的中心，由于地处亚欧大陆腹地，远离海洋，气候差异明显，气候要素分布很不均匀，降水少，蒸发大，气候干燥，水资源短缺是制约当地经济发展的突出问题，也是制

收稿日期：2022-04-07； **修订日期：**2022-06-10
基金项目：国家重点研发计划项目(2019YFC151050102)；第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK010206)和中国沙漠气象科学研究基金(Sqj201902)共同资助
作者简介：苗运玲(1976-)，女，高级工程师，主要从事灾害性天气研究. E-mail: hmmyl65313@163.com
通讯作者：李如琦. E-mail: liruqi@sohu.com

约农牧业发展的最大瓶颈。因此,本文利用1978—2020年中天山北坡冬季逐日降水资料,对不同量级降雪时空分布、变化趋势,以及对降雪贡献等进行深入研究分析,以期为提高中天山北坡降雪预报预测水平、水资源评价、有效实施人工增雪等提供技术支撑,同时也为促进中天山北坡社会、经济持续发展、水资源利用等具有十分重要的意义。

1 资料与方法

1.1 资料来源及降水分级处理

因考虑到资料的完整性、连续性、时序、台站迁移、地域等情况,选取了中天山北坡经济带核心城市乌鲁木齐和昌吉1978—2020年冬季(12月至翌年2月)17个国家级台站逐日降水、气温、天气现象等观测资料,所用资料均通过严格质量控制,数据完整性和准确性较高;为了资料一致性,剔除冬季出现的液态及雨夹雪降水过程。本文冬季选取1977年12月至1978年1月和2月为1978年冬季,以此类推,时间序列为1978—2020年,共43 a。

根据《地面气象自动观测规范(第一版)》[16]规定,天气现象记录以北京时20:00时为日界,当某次降水跨日(或月)时按两次降水计算。由于新疆气候特殊性和预报服务需要,按照新疆降水标准进行量级划分[17],共分为6个量级,即:微雪(R<0.1 mm)、小雪(0.1 mm ≤R≤3.0 mm)、中雪(3.0 mm<R≤6.0 mm)、大雪(6.0 mm<R≤12.0 mm)、暴雪(12.0 mm < R≤24.0 mm)、大暴雪(≥24.1 mm),本文只统计有效降水,即R≥0.1 mm的降水,R为日降水量,降雪日数为冬季出现降雪天气现象的日数,降雪强度是指降雪量与降雪日数的比。根据人口数量、海拔高度、地理环境等,将中天山北坡划分为城区(代表站:乌鲁木齐、昌吉、米东)、山区(代表站:小渠子、牧试站、天池、北塔山、大西沟)和郊区(位于城市周边的9个台站)[18],具体站点分布详见图1。

1.2 研究方法

采用线性趋势、多项式拟合、距平等常规分析方法进行趋势倾向分析;利用反距离加权平均插值方法(IDW),进行空间分析;运用曼-肯德尔(Mann-Kendall,简称M-K)方法[19]进行突变分析,为了检验转折点是否有突变,利用信噪比对其进行检验,公式如下:

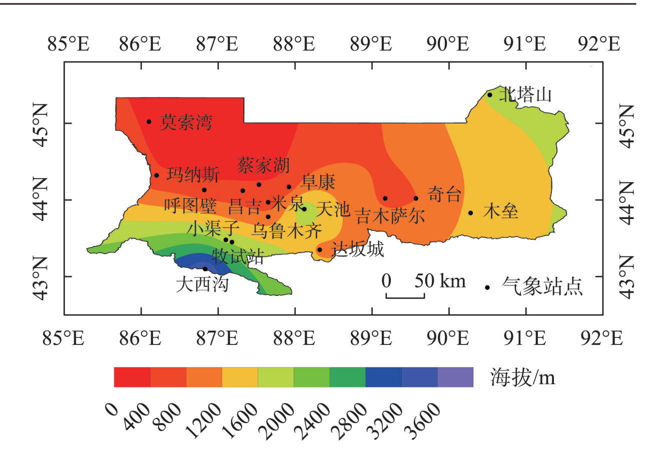


图1 中天山北坡国家级气象站点分布

Fig. 1 Distribution of national meteorological stations on the north slope of the middle Tianshan Mountains

$$S/N = \frac{\left|\overline{X_a} - \overline{X_b}\right|}{S_a + S_b}$$

式中:$\overline{X_a}$、$\overline{X_b}$、S_a、S_b分别为转折年份前后两段观测要素的平均值和标准差,当S/N > 1时,则认为该年是突变年,反之不是。

2 结果与分析

2.1 降雪基本特征

经统计可知,1978—2020年中天山北坡冬季降雪具有以下特征:(1) 平均降雪量为23.5 mm,平均降雪日18.9 d,平均降雪强度为1.24 mm·d^{-1};(2) 随着降雪量级不断增大,降雪日数减小速度比降雪量大;(3) 小雪日/量对降雪贡献最大,暴雪日/量贡献最小;(4) 冬季降雪年际波动大。最大降雪量是最少降雪量的4.8倍;出现最多降雪过程是最少降雪过程的3倍;(5) 降雪日数和降雪量最大值都出现在城区,最小值出现在山区;(6) 在研究时段内,达坂城没有出现大雪和暴雪,莫索湾、北塔山和大西沟没有出现暴雪;(7) 研究区在近43 a中有3 a没有出现大雪,27 a没有出现暴雪,即平均近3 a出现一次暴雪天气过程。

2.2 降雪空间分布

2.2.1 降雪日 由图2a可知,近43 a中天山北坡冬季总雪日是以城区为大值中心逐渐向四周减小,最大值出现在城区的乌鲁木齐,为26 d,最少出现在郊区的达坂城,仅出现7 d,其他台站在13~24 d。不同区域降雪日数存在明显差异,从高到低排序为:城区 > 郊区 > 山区,城区是冬季降雪出现最多区域,

在24 d以上，而汛期降水充沛的山区，冬季降雪出现却最少，仅为16 d左右，这与中天山北坡汛期降水空间分布存在明显差异[20]，但与赵勇等[15]的研究结论较为一致。

从不同量级降雪日数空间分布可知，小雪日（图2b）、大雪日（图2d）与总雪日空间分布较相似，都是以城区为大值中心向四周逐渐减小，其中小雪日除郊区达坂城以外，其他站点都在13 d以上；从图2d可知，只有乌鲁木齐出现了1 d以上的大雪过程，其他站点均不足1 d。从各站小雪日所占比重可知（表略），城区乌鲁木齐出现小雪最多，为21 d，与其他站点相比所占比重却最小，为83.9%，而郊区达坂城出现小雪最少，仅出现7 d，但所占比重最大，高达97.3%。中雪日（图2c）与暴雪日（图2e）空间分布比较一致，存在3个大值中心，分别以城区乌鲁木齐、郊区玛纳斯和木垒为中心逐渐向四周减小，其中最大值仍出现在乌鲁木齐。中雪日中除郊区达坂城和山区大西沟不足1 d外，其他站都在1~3 d；暴雪日基本都在0.4 d以内，其中有4个站点在研究期内未出现暴雪。从各区域降雪日数分布来看（表略），最大值都出现在城区，但最小值出现区域却有所不同，其中小雪日、中雪日和暴雪日出现在山区，大雪日则出现在郊区。

2.2.2　降雪量　中天山北坡冬季总降雪量（图3a）空间分布与总雪日相似，都是由城区为大值中心向四周逐渐减小，即降雪日数多的地方，降雪量也较大。最大值仍出现在乌鲁木齐，高达40.9 mm，最小值出现在郊区达坂城，仅为3.8 mm，最大值是最小值的10.8倍，说明区域分布差异大，其他站在15~30 mm。不同区域降雪量分布与降雪日数相同，即城区最大（34.4 mm），山区最少（21.0 mm）。从不同量级降雪量空间分布可知（图3b~图3e），总体分布与总降雪量大致相似，都是以城区为大值中心逐渐向四周减小，且最大值和最小值出现的站点一致。同样对各站小雪量占总降雪量比重进行分析可知（表略），降雪量最大的乌鲁木齐所占比重最小，仅占

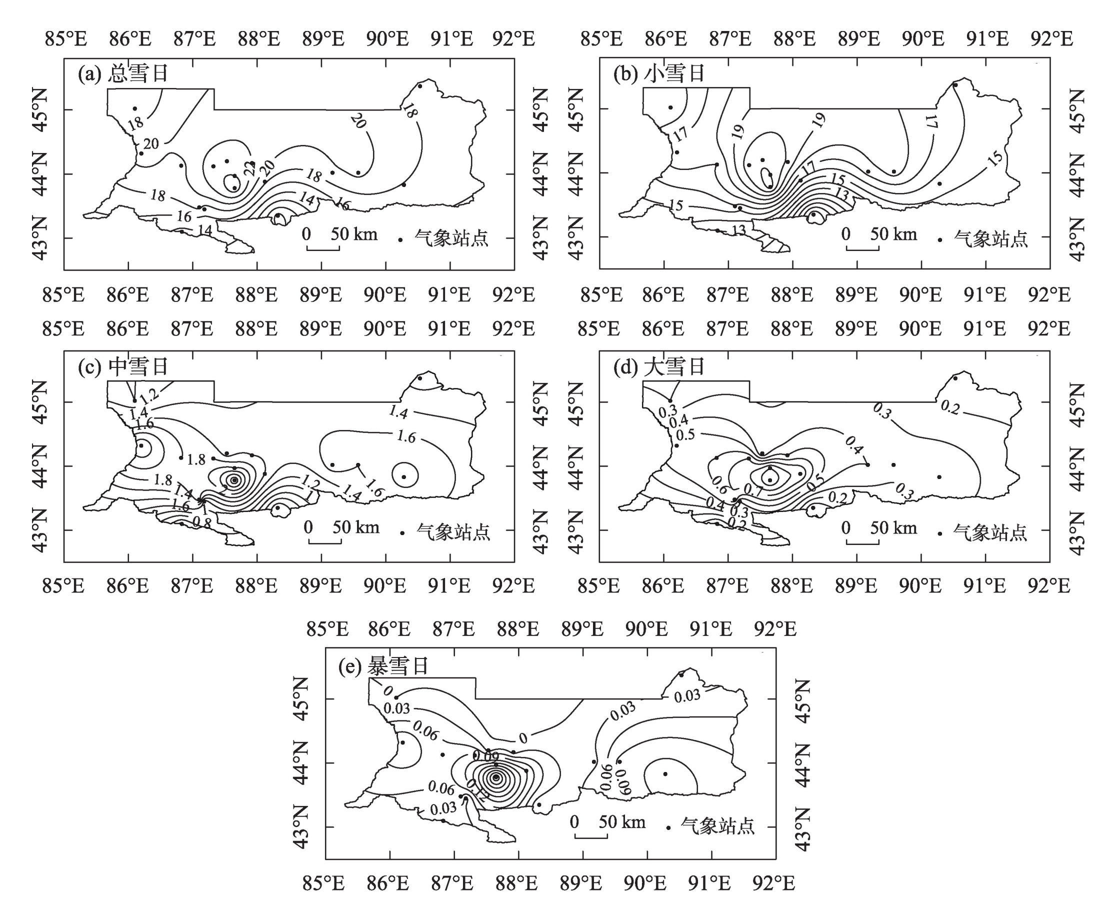


图2　1978—2018年中天山北坡冬季不同量级降雪日空间分布

Fig. 2　Spatial distribution of snow days of different magnitudes on the north slope of the middle Tianshan Mountains in winter from 1978 to 2018

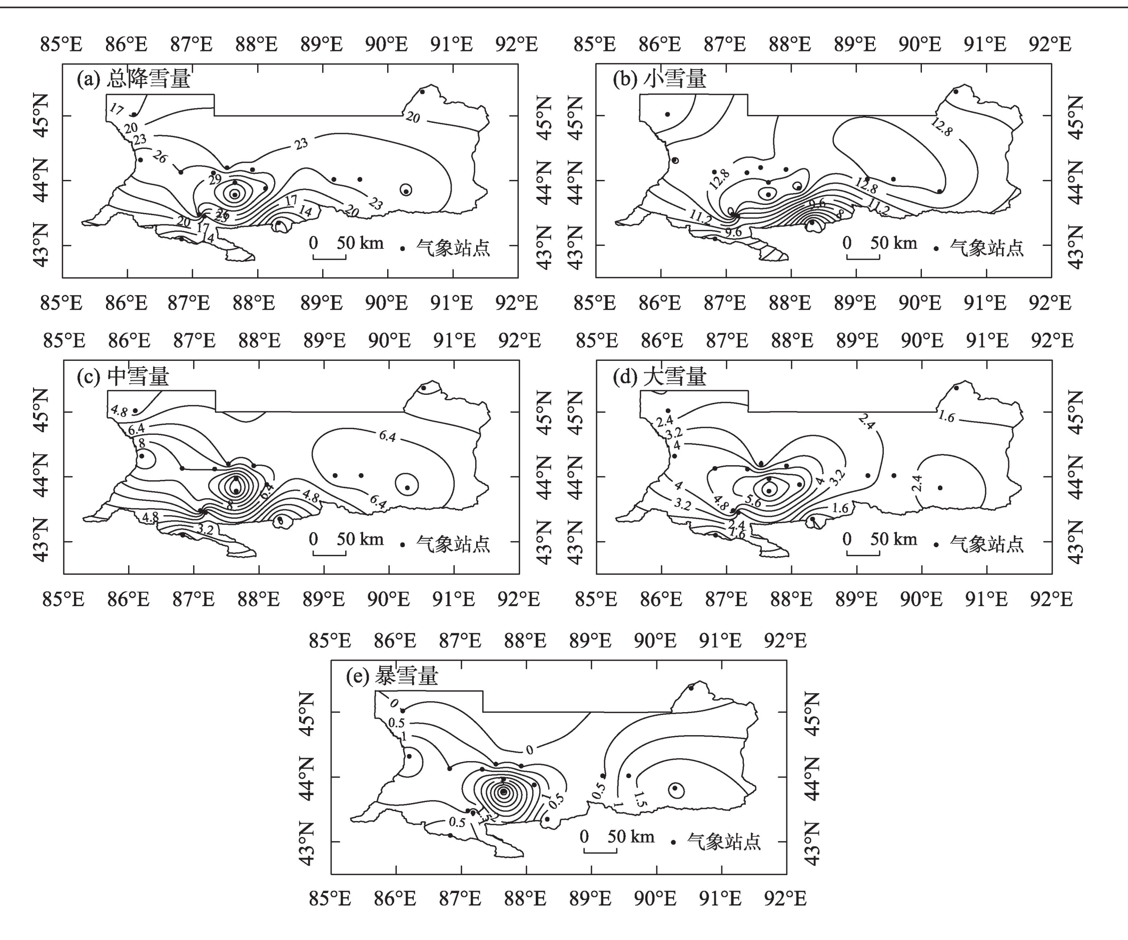


图3 1978—2018年中天山北坡冬季不同量级降雪量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of snowfall of different magnitude on the north slope of the middle Tianshan Mountains in winter from 1978 to 2018

37.7%,高山带的大西沟所占比重最大,高达87.0%,其次是达坂城,为81.6%,其他站相差不大,在40%~68%之间。

综上所述,降雪日数和降雪量空间分布特点与汛期降水有明显区别,汛期最大降水出现在山区,冬季最大出现在城区,最小出现在山区,且最大值均出现在城区的乌鲁木齐,这与乌鲁木齐所处的地理环境、海拔高度、大气环流、逆温层等有一定关系。乌鲁木齐三面环山,地势东南高,西北低,高低空急流与南部山区地形的强迫抬升,致使天山北坡的逆温层遭到破坏,加剧了冷暖空气交汇,利于降雪天气形成。

2.3 降雪年内变化

2.3.1 月变化 从各月降雪日数和降水量的分布可知(图略),降雪日数和降雪量最大出现在12月,分别占冬季总雪日和总降雪量的36.2%和41.5%,1月和2月略有不同,1月、2月降雪日数分别占34.1%、29.8%,降雪量分别占27.5%、30.9%。从不同量级降雪日数在各月所占比例可知(表略),1月小雪出现最多,占31.7%,中雪和大雪主要出现在12月,分别占3.8%、1.3%,暴雪主要出现在12月和2月,所占比例均为0.2%。不同量级降雪量在各月的分布与降雪日数完全不同,最大值均出现在12月,不同量级降雪量在12月所占总降雪量的比例分别为18.5%、12.4%、8.1%、2.4%。

2.3.2 年际变化 从图4可知,近43 a中天山北坡平均降雪日数为18.9 d,并以0.52 d·(10a)$^{-1}$速率下降(未通过信度检验),近43 a研究区降雪日数减少了2.2 d,这与天山山区的变化趋势较一致[21],但与北疆变化趋势相反[13];最多出现在2010年,高达30.6 d,最少出现在2017年,仅出现10.4 d,极差为20.2 d,说明年际波动明显。近43 a平均降雪量为23.5 mm,并以2.52 mm·(10a)$^{-1}$速率上升(通过0.01信度检验),上升速率明显高于辽宁省[22],近43 a研究区降雪量增加了10.8 mm,最多出现在2010年,为45.7 mm,1982年出现最少,仅为9.5 mm,仅占最多降雪

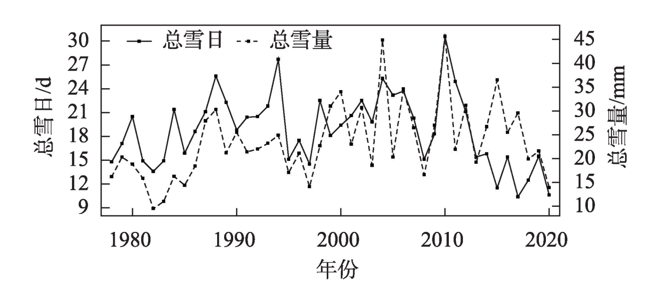


图4　1978—2018年中天山北坡冬季降雪日数和降雪量变化趋势

Fig. 4　Change trend of winter snowfall days and snowfall amount on the north slope of the middle Tianshan Mountains from 1978 to 2018

年的五分之一。

从不同量级降雪日数和降雪量变化速率来看(表1)，小雪日呈下降趋势，故小雪日减少是导致总雪日减小的主要原因，其他量级降雪日数呈增加趋势，其中中雪日通过0.05、大雪日通过0.01信度检验，说明增加显著。不同量级降雪量均呈现不同程度增加趋势，其中，中雪量和暴雪量通过0.01信度检验，说明中雪量和暴雪量的增加是导致总雪量增加的主要原因。

从不同量级降雪日数所占比重可知(表1)，小雪日所占比重最大，高达88.8%，其他雪日分别为7.3%、2.4%、0.2%，小雪日对总雪日贡献率最大，暴雪日贡献最小，且在近43 a中只有16 a出现暴雪，其中有9 a出现在近20 a，说明受气候变暖影响，极端降雪天气在近20 a明显增多。从不同量级降雪量所占比例可知，小雪量所占比重最大，但明显小于小雪日的贡献，仅为51.7%，其他量级分别为28.0%、15.2%、5.1%，虽暴雪量所占比重最小，但带来的气象灾害和衍生灾害不容忽视。例如2014年12月8日乌鲁木齐市出现暴雪(17.7 mm)，积雪深度高达25 cm，造成乌鲁木齐国际机场延误航班78架次，45个航班取消，迫航1架次，滞留乘客3500人左右，并且对城市交通、设施农业等产生巨大影响，该事件成为“2014年新疆十大气候事件”之一。

2.3.3　年代际变化　为了分析中天山北坡冬季降雪日数和降雪量年代际变化，利用6次多项式拟合方法对时间序列进行拟合。近43 a总雪日总体呈双峰三谷型分布(图5)，即：下降→上升→下降→上升→下降→上升，1982年左右处于低谷，然后急剧上升，到1991年左右达到第一峰值，然后逐渐下降，这种下降趋势持续到1998年后逐渐上升，到2007年达到最大峰值后急剧下降，并持续到2018年左右达到最低值后继续上升，这种上升趋势一直到2020年。总雪量变化趋势与总雪日明显不同，总体呈单峰单谷型分布，低值出现在1982年左右，然后逐渐上升，上升过程虽有小的波动，但总体呈上升趋势，并一直持续到2013年左右达到峰值后急剧下降，并持续到2020年。

从不同量级降雪日数和降雪量年代际变化可知(图略)，小雪日变化趋势与总雪日较一致，小雪量变化趋势与总雪量变化有明显不同，基本呈波浪型变化，中雪日与中雪量、大雪日与大雪量、暴雪日与暴雪量变化较相似，但这种上升或下降趋势在2020年以后是否仍持续，后期需要利用其他方法进行探讨和研究。

2.4　降水的持续性

降水持续时间是降水重要特征的一种表现，其

表1　1978—2020年中天山北坡冬季不同量级降雪日数和降雪量气候倾向率、百分比统计

Tab. 1　Climatic tendency and percentage statistics of snowfall days and snowfall amount of different magnitude on the north slope of the middle Tianshan Mountains in winter from 1978 to 2020

量级	降水量			降水日数		
	降水量/mm	所占比例/%	气候倾向率/[mm·(10a)$^{-1}$]	日数/d	所占比例/%	气候倾向率/[d·(10a)$^{-1}$]
小雪	12.2	51.7	2.52	16.7	88.4	−0.52
中雪	6.6	28.0	0.22**	1.6	8.5	−0.87
大雪	3.6	15.3	0.57	0.5	2.6	0.17*
暴雪	1.2	5.1	1.06**	0.1	0.5	0.13**
总降雪	23.6	–	0.65	18.9	–	0.03

注：*代表通过0.05信度检验，**代表通过0.01信度检验。下同。

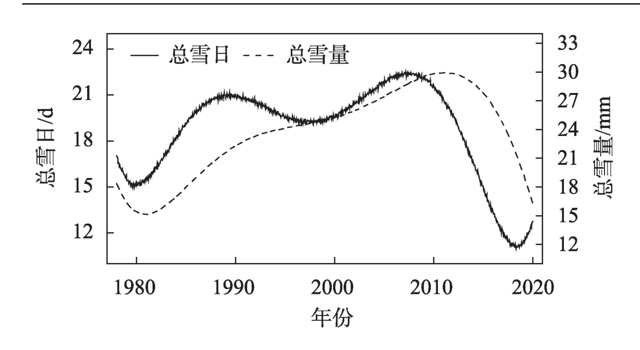


图5 1978—2018年中天山北坡冬季降雪日和降雪量年代际变化趋势

Fig. 5 Decadal variation trend of winter snowfall days and snow amount on the north slope of the middle Tianshan Mountains from 1978 to 2018

时空分布在一定程度上可以反应某一区域降水对水循环的影响。本文把某站降水持续时间的长短定义为降水的持续性,按照持续时间长短进行分类,主要分为5类降水过程,包括持续1 d、2 d、3 d、4 d、≥5 d;降水频次是指某类降水出现的次数与总降水次数比值。从研究区及各站不同持续时间降雪次数可知,均以持续1 d降雪为主,随着持续时间不断增长降雪次数急剧减少。就整个区域而言,持续1 d降雪过程占总过程54.8%,其余4类分别占29.6%、9.3%、3.5%和2.8%。

从各类降水过程出现频次的空间分布可知(图6),各站和不同区域以持续1 d降水过程为主,最大值出现在降雪日数出现最少的达坂城,高达69.4%,最小值出现在小渠子,为46.6%;不同区域中郊区出现最多,为58%,城区相对较少,大约为51%。持续2 d降水过程中最大和最小值出现站点与持续1 d降水过程相反,即最大值出现在小渠子,为38.4%,达坂城最小,为21.3%;从不同区域变化可知,山区在30%以上,城区不足30%,郊区在21%左右。其他3类降水过程空间分布较相似,都是以城区为高值中心,逐渐向四周减小,最大值出现在乌鲁木齐,但最小值出现的站点不同,故城区是易发生这3类降水

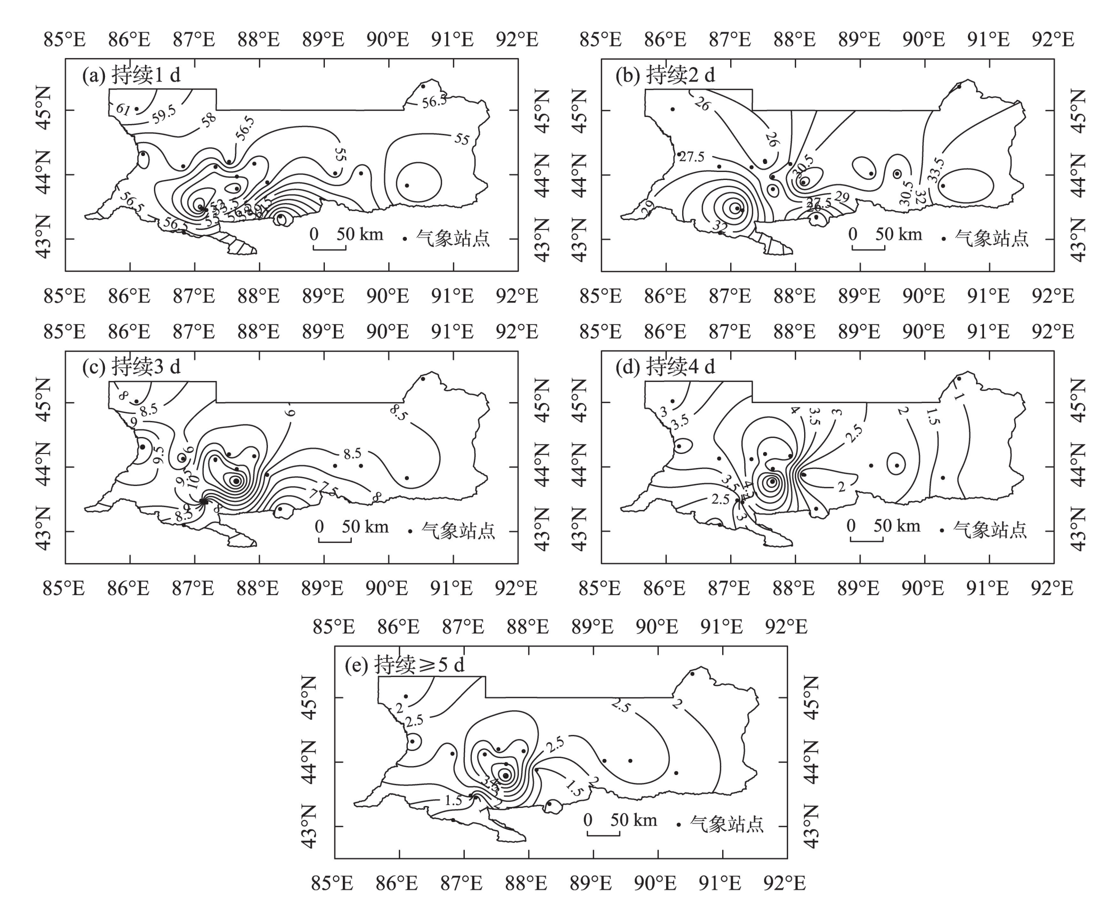


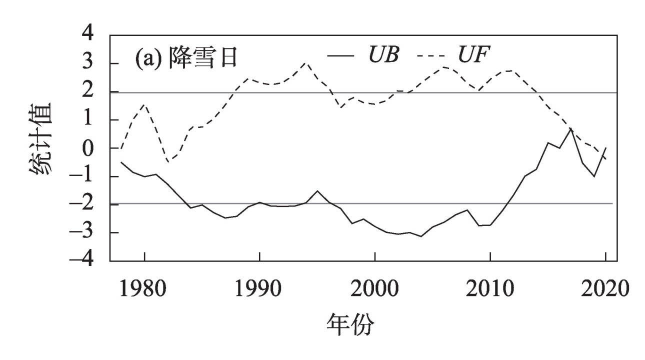
图6 1978—2018年中天山北坡冬季5种不同降水过程占总降水过程频次空间分布

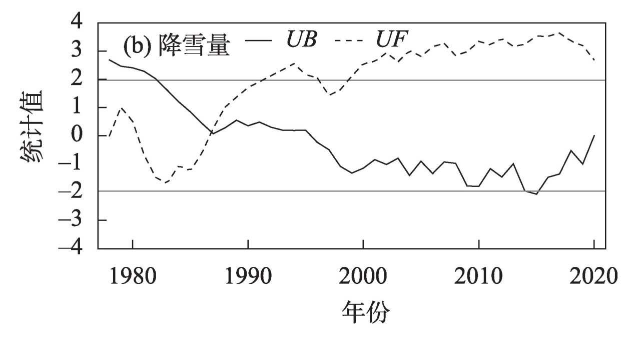
Fig. 6 Spatial distribution of frequency proportions of five different precipitation processes in winter on the north slope of the Tianshan Mountains from 1978 to 2018

过程的主要区域，其次是郊区，其中持续3 d降水过程出现的频率在5.6%~12.9%，持续4 d的在0.9%~7.3%，≥5 d降水过程中只有乌鲁木齐超过5%，其余各站均不足5%。综上，近43 a中天山北坡冬季降雪以持续1 d降水过程为主，但＞1 d降水过程仍占45%左右，表明持续性降水也是中天山北坡冬季主要降水过程。

2.5　突变分析

为分析中天山北坡气候是否存在暖湿化变化，利用M-K法对该区域冬季降雪日数、降雪量和年平均气温进行突变分析。降雪日数*UF*和*UB*曲线分别在2017年、2020年相交（图7a），但没有通过信噪比检验，故降雪日数在研究期内没有出现从多到少或从少到多的突变，这与北疆和天山山区降雪日数变化结论一致[13,21]。降雪量*UF*和*UB*曲线交于1987年（图7b），通过信噪比检验，即1987年是中天山北坡冬季降雪量由少到多的突变年，这与北疆[13]突变时间（1986年）大致相同，*UF*曲线在1998年超出临界线，表明降雪量增加很显著。年平均气温*UF*和*UB*曲线于1994年相交，并通过信噪比检验，即1994年是中天山北坡气候变暖的突变年，大致与新疆增暖的时间一致（20世纪90年代初期）[23]，*UF*曲线在2000年超出临界线，说明增暖很明显。





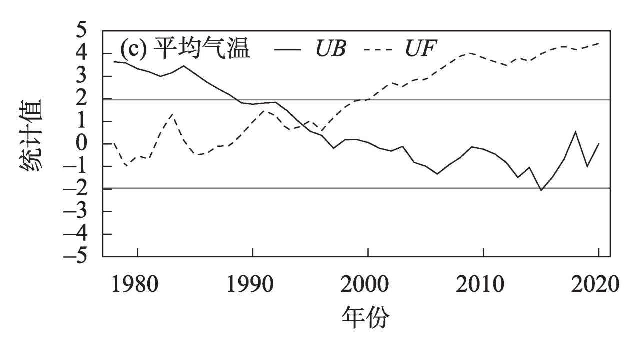


图7　1978—2020年中天山北坡冬季降雪日数、降雪量和平均气温突变分析

Fig. 7　Mutation analysis of snowfall days, snowfall amount and average temperature in winter on the north slope of the middle Tianshan Mountains from 1978 to 2020

对不同量级降雪日数和降雪量进行突变分析（图略），小雪日、中雪日和大雪日分别在2016年（由多到少）、1986年（由少到多）、1985年（由少到多）发生突变，小雪量在1984年、中雪量和大雪量均在1987年发生了由少到多的突变，暴雪日和暴雪量因在研究期内出现的频率较少，故未发生突变。综上所述，近43 a中天山北坡气候呈现较明显的暖湿化变化，这与天山山区变化较一致。

2.6　丰雪年和枯雪年的气候特征

将降雪量距平绝对值≥1.0倍标准差作为划分丰雪年和枯雪年标准，即距平值为正，且≥1.0倍标准差为丰雪年，距平值为负，且≤-1.0倍标准差为枯雪年。经统计发现，中天山北坡丰雪年和枯雪年各出现5 a，丰雪年主要出现在2000年、2004年、2006年、2010年、2015年，其中2004年、2010年和2015年为异常偏多年（≥1.5倍标准差），2010年达到2.8倍标准差；枯雪年出现在1982年、1983年、1985年、1997年和2020年，其中1982年、1983年为异常偏少年（≤-1.5倍标准差）。丰雪年均出现近20 a，表明受全球气候变暖的影响，中天山北坡出现极端降水天气的可能性较大。从以上分析可知，中天山北坡丰雪年和枯雪年出现年份与北疆完全不同[11]，出现这种结果可能与所选区域、时间序列的长短及异常值所采用标准有关。

从表2可知，不同量级降雪量和降雪日数在丰雪年和枯雪年所占比例有明显差异。丰雪年的小雪量所占比例明显小于枯雪年所占比例，分别为37.2%、62.3%，即枯雪年相当于丰雪年的2倍；中雪量在丰雪年和枯雪年所占比例相当，在28%~30%之间；大雪量在丰雪年所占比例相当于枯雪年的2倍多，分别为19.9%、8.0%；暴雪量在丰雪年所占比例较大，为14.5%，而枯雪年未出现暴雪。小雪日在丰雪年和枯雪年所占比例较大，为82.2%、92.8%，但中

表2 1978—2020年中天山北坡丰雪年和枯雪年不同量级降雪量和降雪日数所占比例

Tab. 2 Proportion of snowfall amount and snowfall days of different magnitude in high snow year and low snow year on the north slope of the middle Tianshan Mountains from 1978 to 2020

		小雪	中雪	大雪	暴雪
丰雪年	降雪量/%	37.2	28.4	19.9	14.5
	降雪日/%	82.2	12.8	4.4	0.6
枯雪年	降雪量/%	62.3	29.7	8.0	–
	降雪日/%	92.8	6.1	1.1	–

雪日、大雪日在丰雪年所占比例明显大于枯雪年。故从小雪日所占比重来看，小雪是丰雪年和枯雪年的主要降雪形式，但从所占降雪量比重可知，枯雪年的降雪量主要是由小雪量贡献，而在丰雪年各个量级降雪量对总降雪量贡献相差不大，在14%~37%之间。

2.7 降雪量与气象因子的关系

气温与降水是影响气候变化的主要因子，较低的环境温度是形成降雪的一个重要气候条件。在全球气候变暖的背景下，为更好预测中天山北坡未来降雪变化，本文主要分析降雪量与不同气温要素、降水量、降水日数之间的相关性。

从1978—2020年中天山北坡气温要素气候倾向率变化可知(表3)，年平均、最高、最低气温，冬季平均、最低气温呈上升趋势，年平均气温增温幅度明显高于全国和全球增温幅度，是全国1.2倍、全球2.8倍，其中年平均、最高和最低气温通过0.01信度检验，说明气温要素增温显著；冬季平均最高气温呈下降趋势，未通过信度检验。近43 a中天山北坡年降水日数呈显著下降趋势，年降水量呈增加趋势，冬季降雪日数减少是导致全年降水日数减少原因之一，冬季降雪量增加是导致年降水量增多的因素之一。综上所述，受全球气候变暖的影响，中天山北坡因不同气温要素呈上升趋势，原本天气现象以降雪形式出现但受气温上升的影响，天气现象以液态降水或雨夹雪形式出现，或者不出现降雪天气。

表3 1978—2020年中天山北坡气温要素、降水日数和降水量气候倾向率

Tab. 3 Climatic tendency of temperature, precipitation days and precipitation on the north slope of the middle Tianshan Mountains from 1978 to 2020

	平均气温	平均最高气温	平均最低气温	降水日数	降水量
冬季	0.08	−0.14	0.27	−0.52	2.52**
全年	0.35**	0.31**	0.45**	−3.36**	6.2

降雪量与不同气温要素、降水量、降水日数均呈正相关(表4)，其中与年降水量和降雪日数相关系数为0.450和0.499(通过0.01信度检验)，与冬季平均最低气温相关系数为0.316，通过0.05信度检验，即降雪量与年降水量、降雪日数和冬季平均最低气温均存在显著的正线性相关，即年降水量越大，冬季出现降雪日数越多，冬季最低气温越低，冬季降雪量就越大，反之越小。降雪量与其他要素均未通过信度检验，说明其他要素对降雪量的影响不显著。

表4 1978—2020年中天山北坡降雪量与气温要素、降水日数和降水量的相关系数

Tab. 4 Correlation coefficient between snowfall and temperature, precipitation days and precipitation on the north slope of the middle Tianshan Mountains from 1978 to 2020

	平均气温	平均最高气温	平均最低气温	降水日数	降水量
冬季	0.268	0.153	0.316*	0.499**	–
全年	0.217	0.113	0.283	0.259	0.450**

3 结 论

本文根据中天山北坡17个国家级气象站1978—2020年冬季逐日降水、气温等观测资料，分析近43 a冬季降雪时空变化特征及其与气象因子的关系，得到以下结论：

(1) 在空间分布上，1978—2020年中天山北坡冬季降雪日数和降雪量呈现“城区多，山区少”的分布特征，都是以城区为大值中心逐渐向四周减小，这与中天山北坡汛期降水日数分布完全不同。不同量级降雪日数和降雪量最大值均出现在城区的乌鲁木齐，最小值出现在郊区的达坂城，降雪出现多的区域，降雪量也较大。

(2) 从年际变化趋势可知，近43 a中天山北坡降雪日数以0.52 d·(10a)$^{-1}$速率下降，与天山山区变化趋势相似；降雪量以2.52 mm·(10a)$^{-1}$速率上升，明显高于辽宁省上升速率；不同量级降雪日数中除

小雪日其他雪日均呈增多趋势,故小雪日减少是导致总雪日数减小的直接原因,而不同量级降雪量均呈增加趋势,中雪量和暴雪量增多是导致总降雪量增多的主要原因。

(3) 1978—2020年中天山北坡冬季降雪日数不存在明显的突变,降雪量在1987年发生了由少到多的突变,即逐渐增湿;1994年是中天山北坡气温由低到高的突变年,即逐渐增暖。受多种因素影响,中天山北坡在近43 a也发生了较明显的暖湿变化。

(4) 受全球气候变暖的影响,近43 a中天山北坡丰雪年主要出现在近20 a,分别出现在2000年、2004年、2006年、2010年和2015年;枯雪年主要出现在1982年、1983年、1985年、1997年和2020年。小雪日是丰雪年和枯雪年的主要降雪形式,小雪量对枯雪年的降雪量贡献最大,占比高达62.3%。

参考文献(References):

[1] 刘玉莲, 任国玉, 于宏敏. 中国降雪气候学特征[J]. 地理科学, 2012, 32(10): 1176-1185. [Liu Yulian, Ren Guoyu, Yu Hongmin. Climatology of snow in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(10): 1176-1185.]

[2] 周刚, 崔曼仪, 李哲, 等. 新疆春季融雪洪水危险性动态评价研究[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 950-960. [Zhou Gang, Cui Manyi, Li Zhe, et al. Dynamic evaluation of spring snowmelt flood hazard in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(4): 950-960.]

[3] 高婧, 井立红, 秦榕, 等. 新疆塔城地区大-暴雪特征及其与大气环流和海温的关系[J]. 干旱区研究, 2021, 38(2): 359-368. [Gao Jing, Jing Lihong, Qin Rong, et al. Characteristics of heavy-blizzard in Tacheng area of Xinjiang and its relationship with atmospheric circulation and SST[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(2): 359-368.]

[4] 杨晓玲, 郭丽梅, 张春燕, 等. 河西走廊东部雪日时空演变特征[J]. 冰川冻土, 2018, 40(6): 1133-1140. [Yang Xiaoling, GuoLimei, Zhang Chunyan, et al. Characteristics of snowy days in east Hexi Corridor: Temporal and spatial variations[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2018, 40(6): 1133-1140.]

[5] 张志富, 希爽, 刘娜, 等. 1961—2012年中国降雪时空变化特征分析[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1765-1773. [Zhang Zhifu, Xi Shuang, Liu Na, et al. Snowfall change characteristics in China from 1961 to 2012[J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1765-1773.]

[6] 周晓宇, 赵春雨, 崔妍, 等. 1961—2017年中国东北地区降雪时空演变特征分析[J]. 冰川冻土, 2020, 42(3): 766-779. [Zhou Xiaoyu, Zhao Chunyu, Cui Yan, et al. Analyzing the characteristics of temporal and spatial evolution of snowfall in Northeast China from 1961 to 2017[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2020, 42(3): 766-779.]

[7] 蒋文轩, 假拉, 肖天贵, 等. 1971—2010年青藏高原冬季降雪气候变化及空间分布[J]. 冰川冻土, 2016, 38(5): 1211-1218. [Jiang Wenxuan, Jia la, Xiao Tiangui, et al. Climate change and spatial distribution of winter snowfall over the Tibetan Plateau during 1971- 2010[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38 (5): 1211-1218.]

[8] 除多, 洛桑曲珍, 杨志刚, 等. 1981—2010年青藏高原降雪日数时空变化特征[J]. 应用气象学报, 2017, 28(3): 292- 305. [Chuduo, Luosangquzhen, Yang Zhigang, et al. Characteristics of temporal and spatial evolution of snowfall in the Tibetan Plateau during 1971-2010[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2017, 28(3): 292-305.]

[9] 刘义花, 鲁延荣, 周强, 等. 1961—2017年青海高原降雪时空变化分析研究[J]. 冰川冻土, 2019, 41(4): 809-817. [Liu Yihua, Lu Yanrong, Zhou Qiang, et al. Research on the spatiotemporal variation characteristics of snowfall in the Qinghai Plateau from 1961 to 2017[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2019, 41(4): 809-817.]

[10] 丁永红, 冯建民, 马筛艳, 等. 宁夏降雪日数的气候特征和环流结构[J]. 气象, 2012, 38(12): 1523-1531. [Ding Yonghong, Feng Jianmin, Ma Shaiyan, et al. Climatic characteristics and circulation structure of snowfall days in Ningxia[J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(12): 1523-1531.]

[11] 陆桂荣, 杨成芳, 程攀, 等. 1961—2015年我国鲁东南地区降雪的气候特征分析[J]. 冰川冻土, 2018, 40(3): 492- 200. [Lu Guirong, Yang Chengfang, Cheng Pan, et al. Analysis of the climate characteristics of snowfall in southeastern Shandong Province from 1961 to 2015[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2018, 40(3): 492-500.]

[12] 李效收, 汪宝龙, 王圣杰, 等. 天山地区冬季降雪量及其集中度和集中期的变化特征[J]. 资源科学, 2012, 34(8): 1556-1564. [Li Xiaoshou, Wang Baolong, Wang Shengjie, et al. The change characteristics of winter snowfall, snow concentration degree and concentration period in the Tianshan Mountains[J]. Resources Science 2012, 34(8): 1556-1564.]

[13] 刘成武, 安大维, 张俊兰, 等. 1961—2019年北疆冬季不同量级降雪变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(4): 115-122. [Liu Chengwu, An Dawei, Zhang Junlan, et al. Variation characteristics of different grades of winter snowfall in Northern Xinjiang from 1961 to 2019[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2021, 15(4): 115-122.]

[14] 秦艳, 丁建丽. 1961—2016年中国天山不同级别降雪事件变化特征分析[J]. 水科学进展, 2019, 30(4): 457-466. [Qin Yan, Ding Jianli. Change characteristics of different types of snowfall event in China's Tianshan Mountains from 1961 to 2016[J]. Advances in Water Science, 2019, 30(4): 457-466.]

[15] 赵勇, 崔彩霞, 李霞. 北疆冬季降水的气候特征分析[J]. 冰川冻土, 2011, 33(2): 292-299. [Zhao Yong, Cui Caixia, Li Xia. Climatic characteristics of winter precipitation in Northern Xinjiang region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2011, 33(2): 292-299.]

[16] 中国气象局. 地面气象自动观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2020: 1-2. [China Meterological Administration. Code for Automatic Surface Meteorological Observation[M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 2020: 1-2.]

[17] 肖开提·多莱特. 新疆降水量级标准的划分[J]. 新疆气象, 2005, 28(5): 7-8. [Xiaokaiti Duolaite. Division of precipitation magnitude standard in Xinjiang[J]. Xinjiang Meteorology, 2005, 28(5): 7-8.]

[18] 李景林, 郑玉萍, 李悦, 等. 乌鲁木齐—昌吉地区城市化对温度的影响及热岛效应分析[J]. 高原气象, 2010, 29(6): 1609-1618. [Li Jinglin, Zheng Yuping, Li Yue, et al. Influence of urbanization on temperature and heat island effect in Urumqi Changji area[J]. Plateau Meteorology, 2010, 29(6): 1609-1618.]

[19] 魏凤英, 现代气候诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 63-66. [Wei Fengying. Modern Climate Diagnosis and Prediction Technology[M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 2007: 63-66.]

[20] 苗运玲, 张云惠, 郑玉萍, 等. 1978—2018年乌鲁木齐—昌吉地区汛期不同量级降水日数变化特征及与降水量的关系[J]. 气象与环境科学, 2020, 43(4): 97-104. [Miao Yunling, Zhang Yunhui, Zheng Yuping, et al. Variation characteristics of different magnitudes precipitation days over the Urumqi-Changji region in flood seasons of 1978-2018 and its relationship with precipitation[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2020, 43(4): 97-104.]

[21] 曹丽君, 孙慧兰, 兰小丽, 等. 新疆天山极端干湿事件时空演变特征[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 188-197. [Gao Lijun, Sun Huilan, Lan Xiaoli, et al. Spatio-temporal evolution of the extreme dry and wet events in Tianshan Mountains, Xinjiang, China[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 188-197.]

[22] 周晓宇, 赵春雨, 崔妍, 等. 辽宁省不同量级降雪变化特征[J]. 冰川冻土, 2017, 39(4): 720-732. [Zhou Xiaoyu, Zhao Chunyu, Cui Yan, et al. Variation characteristics of different levels of snow in Liaoning Province[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(4): 720-732.]

[23] 姚俊强, 李漠岩, 迪丽努尔·托列吾别克, 等. 不同时间尺度下新疆气候"暖湿化"特征[J]. 干旱区研究, 2022, 39(2): 333-346. [Yao Junqiang, Li Moyan, Dilinuer Tuoliewubieke, et al. The assessment on "warming-wetting" trend in Xinjiang at multi-scale during 1961-2019[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(2): 333-346.]

Analysis of winter snowfall variability and its influencing factors on the north slopes of the middle Tianshan Mountains

MIAO Yunling[1], YU Yongbo[1], HUO Da[1], PAN Cunliang[2], LI Ruqi[3]

(1. Urumqi Meteorological Bureau, Urumqi 830002, Xinjiang, China; 2. Hami Meteorological Bureau, Hami 839000, Xinjiang, China; 3. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: Based on the observation data of daily precipitation and temperature elements in winter from 1978 to 2020 from 17 national meteorological stations, the spatial-temporal variation characteristics of winter snowfall and its relationship with meteorological factors in the economic belt on the north slope of the middle Tianshan Mountains were analyzed by using various statistical methods. The results show that: The regional distribution of snowfall days and snowfall amount is similar, showing the distribution characteristics of 'more urban areas, less mountainous areas'. The decrease of light snow days is the direct reason for the decrease of total snow days, while the significant increase of moderate snow and blizzard is the main reason for the increase of total snowfall. The precipitation process lasting for 1 day is the main snowfall process in winter. With the increase of the duration, the precipitation process decreases significantly, and the precipitation process ≥ 5 days only accounts for 2.8%; In the past 43 years, the climate on the north slope of Tianshan Mountains has shown an obvious warming and humidifying trend. In 1987 and 1994, the amount of snowfall changed from less to more and the average temperature changed from lower to higher; The amount of snowfall is significantly and positively correlated with the annual precipitation, the average minimum temperature in winter, and the number of snowfall days. The greater the annual precipitation, the lower the minimum temperature in winter, and the more snowfall days, the greater the amount of snowfall in winter, and vice versa.

Keywords: snowfall of different orders; spatial and temporal distribution; persistent; the north slope of the middle Tianshan Mountains